



Spécialisation de troisième cycle inter-écoles  
(INAP-G, ENSA.M, ENSA.R)

Mémoire de fin d'études présenté en vue de l'obtention  
du

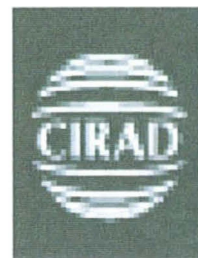
**Diplôme d'Agronomie Approfondie**

Spécialité

**Protection des Plantes et Environnement**

Par

Joseph Frénel **STERLIN**



Centre de Coopération  
Internationale en  
Recherche  
Agronomique pour  
le Développement

# **Etude de la biologie et du comportement de *Bactrocera zonata* (Saunders), mouche des fruits invasive à l'île de La Réunion**

Maître de stage : Serge **QUILICI**  
Laboratoire d'Entomologie  
Pôle de Protection des Plantes, 7 Chemin de l'IRAT  
97410 Saint-Pierre  
FRANCE

Enseignant responsable : Anne **LE RALEC**

Mémoire soutenu le 27 septembre 2002 à Montpellier devant le jury composé de

Anne **LE RALEC**, ENSAR  
Frédéric **MARION-POL**, INAP-G  
Marie Stéphane **GARCIN**, ENSAM  
Jean-Louis **BERNARD**, SYNGENTA





**Département** : Biologie

**Spécialisation** : DAA Protection des Plantes et Environnement

**Enseignant Responsable** : Anne LE RALEC

**Auteur** : Joseph Frénel STERLIN

**Organisme d'accueil** : CIRAD- Réunion

**Nb de pages** : 36

**Annexes** : 3

**Soutenu le** : 27 septembre 2002

**Adresse** : Laboratoire d'Entomologie « Fruits »

Pôle de Protection des Plantes (3P)

7 Chemin de l'IRAT-97410 St-Pierre

**Titre** : Etude de la biologie et du comportement de *Bactrocera zonata* (Saunders), mouche des fruits invasive à l'île de La Réunion.

#### Résumé

Le développement et la survie de la mouche de la pêche, *Bactrocera zonata* (Saunders) (Diptera : Tephritidae) du stade œuf à la maturation ovarienne ont été étudiés au laboratoire à cinq températures constantes différentes : 15, 20, 25, 30 et 35°C. Chaque stade a été étudié séparément. Le principal objectif de cette étude est d'obtenir des informations sur l'influence de la température sur le développement des stades pré-imaginaux de manière à pouvoir optimiser les méthodes d'élevage, mais aussi comprendre et prévoir la distribution spatio-temporelle de ce ravageur notamment à l'île de La Réunion. Le taux de développement des différents stades vitaux a augmenté d'une manière linéaire avec la température jusqu'à 30°C à l'exception de la maturation ovarienne. Ainsi, on note une nette corrélation négative entre le temps de développement et l'augmentation de la température de 15 à 30°C pour tous les stades étudiés. D'après notre étude, il faut à *B. zonata* 41 et 27 jours pour compléter son cycle à 25 et 30°C respectivement. La durée de développement de la mouche du stade œuf au stade adulte entre 15 et 30°C varie de 10 à 2 ; de 30 à 4 et de 53 à 8 jours pour les œufs, les larves et les pupes respectivement.

Les seuils minimum de température se situent à 12,7 ; 12,6 et 12,8°C pour les œufs, les larves et les pupes respectivement, tandis que les constantes thermiques pour ces mêmes stades sont de 24,8 ; 68,2 et 131 degrés-jour soit un total de 224°j pour tout le cycle de *B. zonata*.

**Mots clés** : Développement, survie, *Bactrocera zonata*, stades pré-imaginaux, températures constantes, minimum thermique, constante thermique

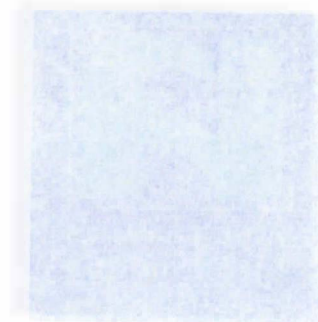
#### Abstract

The development and survival of the peach fruit fly, *Bactrocera zonata* (Saunders) (Diptera : Tephritidae) from egg to complete ovarian maturation were studied in the laboratory at five constant temperatures : 15 ; 20 ; 25 ; 30 and 35°C. Each stage was studied separately. The main objective of this study was to get information on the influence of temperature on pre-mature stages in order to be able to optimise rearing procedures, but also to understand and predict the temporal and geographical distribution of this pest specially in Reunion Island. The development rate of different life stages increased linearly with temperature until 30°C except for the ovarian maturation. So, for all the studied stages, a strong negative correlation was found between the development time and increasing temperature from 15 to 30°C . According to our study, *B. zonata* requires 41 and 27 days to complete its life cycle at 25 and 30°C respectively. The development time of the different stages from 15 to 30°C varies from 10 to 2 ; 30 to 4 and 53 to 8 days for eggs, larvae and pupae respectively.

The minimum temperature thresholds are 12,7 ; 12,6 and 12,8°C for eggs, larvae and pupae respectively while thermal constants (K) for the same stages are 24,8 ; 68,2 and 131 Degrees-Day, i.e. 224 DD for the whole life cycle of *B. zonata*.

**Key words** : Development, survival, *Bactrocera zonata*, pre-mature stages, constant temperatures, minimum temperature threshold, thermal constant.

## Diffusion du mémoire



### Limites de la confidentialité :

Confidentialité absolue : ☐ oui ☒ non

Résumé diffusable : ☒ oui ☐ non

Consultation : ☐ aucune ☒ sur place ☒ reproduction ☒ prêt

### Personnes à contacter :

Joseph Frénel STERLIN

1511, rue Lamarre

HT 6220 Petit-Goâve, Haïti (W.I.)

Et/ou 15, rue Berne

Port-au-Prince, Haïti (W.I.)

E-mail : [jfsterlin@hotmail.com](mailto:jfsterlin@hotmail.com) / [josephfrenel@yahoo.fr](mailto:josephfrenel@yahoo.fr)

Tél. : (509) 287-0686/ 287-0057/ 245-3215

Dr Serge QUILICI

CIRAD-FLHOR Réunion

Laboratoire d'Entomologie « Fruits »

Pôle de Protection des Plantes (3P)

7 Chemin de l'IRAT

97410 Saint-Pierre, France

E-mail : [quilici@cirad.fr](mailto:quilici@cirad.fr)

Tél. : 02 62 49 92 40

Le Responsable  
Scientifique :

Le Président  
du Jury :

L'Auteur :

# Etude de la biologie et du comportement de *Bactrocera zonata* (Saunders), mouche des fruits invasive à l'île de La Réunion

## RESUME

Le développement et la survie de la mouche de la pêche, *Bactrocera zonata* (Saunders) (Diptera : Tephritidae) du stade œuf à la maturation ovarienne ont été étudiés au laboratoire à cinq températures constantes différentes : 15, 20, 25, 30 et 35°C. Chaque stade a été étudié séparément. Le principal objectif de cette étude est d'obtenir des informations sur l'influence de la température sur le développement des stades pré-imaginaux de manière à pouvoir optimiser les méthodes d'élevage, mais aussi comprendre et prévoir la distribution spatio-temporelle de ce ravageur notamment à l'île de La Réunion. Le taux de développement des différents stades vitaux a augmenté d'une manière linéaire avec la température jusqu'à 30°C à l'exception de la maturation ovarienne. Ainsi, on note une nette corrélation négative entre le temps de développement et l'augmentation de la température de 15 à 30°C pour tous les stades étudiés. D'après notre étude, il faut à *B. zonata* 41 et 27 jours pour compléter son cycle à 25 et 30°C respectivement. La durée de développement de la mouche du stade œuf au stade adulte entre 15 et 30°C varie de 10 à 2 ; de 30 à 4 et de 53 à 8 jours pour les œufs, les larves et les pupes respectivement.

Les seuils minimum de température se situent à 12,7 ; 12,6 et 12,8°C pour les œufs, les larves et les pupes respectivement, tandis que les constantes thermiques pour ces mêmes stades sont de 24,8 ; 68,2 and 131 degrés-jour soit un total de 224°j pour tout le cycle de *B. zonata*.

**Mots clés :** Développement, survie, *Bactrocera zonata*, stades pré-imaginaux, températures constantes, minimum thermique, constante thermique

## ABSTRACT

The development and survival of the peach fruit fly, *Bactrocera zonata* (Saunders) (Diptera : Tephritidae) from egg to complete ovarian maturation were studied in the laboratory at five constant temperatures : 15 ; 20 ; 25 ; 30 and 35°C. Each stage was studied separately. The main objective of this study was to get information on the influence of temperature on pre-mature stages in order to be able to optimise rearing procedures, but also to understand and predict the temporal and geographical distribution of this pest specially in Reunion Island. The development rate of different life stages increased linearly with temperature until 30°C except for the ovarian maturation. So, for all the studied stages, a strong negative correlation was found between the development time and increasing temperature from 15 to 30°C. According to our study, *B. zonata* requires 41 and 27 days to complete its life cycle at 25 and 30°C respectively. The development time of the different stages from 15 to 30°C varies from 10 to 2 ; 30 to 4 and 53 to 8 days for eggs, larvae and pupae respectively.

The minimum temperature thresholds are 12,7 ; 12,6 and 12,8°C for eggs, larvae and pupae respectively, while thermal constants (K) for the same stages are 24,8 ; 68,2 and 131 Degrees-Day, i.e. 224 DD for the whole life cycle of *B. zonata*.

**Key words :** Development, survival, *Bactrocera zonata*, pre-mature stages, constant temperatures, minimum temperature threshold, thermal constant.

Je soussigné Joseph Frénel **STERLIN**, propriétaire des droits de reproduction du résumé du présent document, autorise toutes les sources bibliographiques à signaler et publier ce résumé.

Diffusion non limitée.

Date : 11/09/02

Signature :





Je tiens à remercier du plus profond de mon cœur :

- Serge **QUILICI**, mon maître de stage et entomologiste responsable du Laboratoire d'Ecologie Terrestre et Protection Intégrée au **CIRAD** Réunion pour son appui logistique, technique et scientifique agrémenté d'une profonde sympathie rendant possible le déroulement de mon stage dans une atmosphère très conviviale.
- Pierre-François **DUYCK**, entomologiste, pour ses propos d'encouragement et son aide combien appréciable.
- Toute l'équipe d'Entomologie : Béatrice **HURTREL** , Jim **PAYET** et Serge **GLENAC** pour leur aide en tous sens, Antoine **FRANCK** pour ses superbes photos, Christophe **SIMIAND**, Frédéric **GOURDON**, Ludders **MOUTOUSSAMY** et André **HOAREAU** pour leur concours, leur accueil et leur enthousiasme.
- Tous les autres employés du Pôle de Protection des Plantes, stagiaires et VATs particulièrement Agathe **RICHARD** pour leur accueil et leur compréhension.
- Serge **KREITER**, Acarologue et Responsable du **DAA** à l'**ENSA** de Montpellier pour m'avoir aidé à trouver ce stage et m'avoir fourni tant de conseils pratiques.
- Anne **LE RALEC**, Biologiste et Responsable du **DAA** à l'**ENSA** de Rennes, ma tutrice pour son encadrement et ses conseils.
- Guy **RAYNAL**, Phytopathologiste à l'**INAP-G** et Coordonnateur du **DAA « Protection des Plantes et Environnement »** pour sa sympathie et la diligence avec laquelle il a traité mon dossier sur le plan administratif.
- Le Décanat de la Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire d'Haïti pour avoir porté son choix sur moi en vue cette formation.
- En fin tous les profs du **DAA** à l'**INAP-G**, l'**ENSAM** et l'**ENSAR** et tous les autres conférenciers qui ont contribué d'une façon ou d'une autre à dispenser cette formation.





# SOMMAIRE

REMERCIEMENTS

SOMMAIRE

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

<b>1. INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
<b>2. GENERALITES.....</b>	<b>3</b>
2.1. BREVE PRESENTATION DE L'ILE.....	3
2.2. IMPORTANCE DES CULTURES FRUITIERES A L'ILE DE LA REUNION....	4
2.3. LES MOUCHES DES FRUITS A LA REUNION.....	4
2.3.1. Les espèces de Tephritidae d'importance économique.....	4
2.3.2. Eléments de biologie des mouches des fruits.....	6
2.3.2.1. Développement pré-imaginal.....	6
2.3.2.2. Biologie des adultes.....	7
Ovogenèse.....	7
Accouplement.....	7
Ponte.....	7
2.3.2.2.2. Alimentation.....	8
2.3.3. <i>Bactrocera zonata</i> (Saunders).....	8
2.3.3.1. Origine et distribution.....	8
2.3.3.2. Description.....	9
2.3.3.3. Gamme de plantes-hôtes.....	9
2.3.3.4. Biologie.....	10
2.3.3.5. Importance économique.....	10
2.3.3.6. Lutte contre <i>Bactrocera zonata</i> à La Réunion .....	11
2.4. RELATION ENTRE TEMPERATURE ET DEVELOPPEMENT CHEZ LES INSECTES.....	12
2.4.1. Modèles.....	12
2.4.1.1. Modèles linéaires.....	12
2.4.1.2. Modèles non linéaires.....	14
2.5. SYNTHÈSE DES ÉTUDES ANTERIEURES SUR LE CYCLE DE DEVELOPPEMENT DE <i>BACTROCERA ZONATA</i> .....	15

2.5.1. Stades immatures.....	15
2.5.2. Maturation ovarienne.....	16
<b>3. MATERIEL ET METHODES.....</b>	<b>17</b>
3.1. MATERIEL BIOLOGIQUE.....	17
3.2. METHODES D'EXPERIMENTATION ET D'ANALYSE.....	18
3.2.1. Comportement d'accouplement et de ponte.....	18
3.2.2. Biologie.....	18
Stade embryonnaire.....	19
Stades larvaires.....	19
Stade nymphal.....	20
Maturation ovarienne.....	20
Modèle des sommes de températures.....	21
Taux de survie.....	21
Analyses statistiques.....	21
<b>4. RESULTATS.....</b>	<b>22</b>
4.1. ELEVAGE DE <i>BACTROCERA ZONATA</i> AU LABORATOIRE.....	22
4.2. COMPORTEMENT DE <i>BACTROCERA ZONATA</i> AU LABORATOIRE.....	22
4.3. INFLUENCE DE LA TEMPERATURE SUR LA DUREE DU CYCLE DE DEVELOPPEMENT PRE-IMAGINAL ET SUR LA MATURATION OVARIENNE....	23
<b>5. DISCUSSION.....</b>	<b>25</b>
<b>6. CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....</b>	<b>28</b>
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	
ANNEXES	

## **Liste des sigles et abréviations**

CIRAD	: Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
SPV	: Service de la Protection des Végétaux
DAF	: Direction de l'Agriculture et de la Forêt
PRMF	: Programme de Recherche sur les Mouches des Fruits
3P	: Pôle de Protection des Plantes
H.R.	: Humidité relative



## 1. INTRODUCTION

Les mouches des fruits (Diptera : Tephritidae) occasionnent d'importants dégâts sur les cultures fruitières et maraîchères à La Réunion. La mouche de la pêche, *Bactrocera zonata* (Saunders), sous haute surveillance depuis sa première capture à La Réunion en 1991, semble aujourd'hui avoir trouvé dans l'île des conditions favorables à son développement. Prenant actuellement le caractère d'une espèce envahissante, elle représente, en raison de sa grande polyphagie, une menace très sérieuse pour l'agriculture réunionnaise. Ce ravageur très nuisible en arboriculture, a supplanté les autres espèces présentes lors de son introduction à Maurice en 1986 devenant ainsi la première mouche d'importance économique (Hurtrel *et al.*, 2000).

A partir de l'année 2000, dans le cadre d'un réseau de piégeage de surveillance, les captures importantes réalisées surtout au nord de l'île de La Réunion ont sérieusement inquiété l'autorité préfectorale et les organismes concernés comme le CIRAD et les ont portés à initier un programme d'éradication contre ce ravageur. Les moyens nécessaires en personnels et en matériel n'ont toujours pas pu être obtenus, et aujourd'hui, cet objectif d'éradication a dû être abandonné, les travaux s'orientant plutôt vers la mise au point d'une méthode de lutte intégrée (Hurtrel *et al.*, 2002). Au cours de l'année 2002, les populations de *B. zonata* n'ont pas cessé d'augmenter. Aussi, cette espèce gagne de plus en plus du terrain à La Réunion et sa présence vient d'être signalée dans d'autres régions comme l'Est et le Sud-Ouest de l'île.

Si de nombreux travaux ont été réalisés sur diverses espèces de Tephritidae, notamment sur *Ceratitis capitata* (Wiedemann), dans divers pays du monde, la mouche de la pêche a encore été très peu étudiée. Malgré sa grande importance dans divers pays d'Asie, sa biologie demeure encore mal connue. Or, les actions de lutte à entreprendre sont guidées en partie par les données concernant le cycle vital de l'insecte. Les traitements d'éradication et la durée des activités de piégeage sont d'abord affectés par l'intervalle de temps qui est nécessaire à l'insecte pour compléter chaque stade de son cycle vital. D'où la nécessité de bien connaître la biologie de ce ravageur pour mieux le combattre.

Dotée d'un très grand potentiel biotique (jusqu'à 800 œufs par femelle), cette espèce très polyphage et multivoltine semble parvenir à pulluler à La Réunion grâce à des conditions écologiques favorables (climat, nature et abondance des plantes hôtes). Or, la température est un important facteur environnemental qui affecte la survie et le taux de développement des insectes. Pour mieux appréhender les phénomènes de pullulation et de dispersion chez les insectes d'importance économique comme la mouche de la pêche, l'étude de l'influence de ce paramètre sur la biologie de ce nouveau ravageur s'avère indispensable.

Par ailleurs, l'étude de la gamme de plantes-hôtes de l'espèce à La Réunion s'avère également indispensable.

L'objectif de notre étude est double et vise :

- d'une part, au laboratoire, à mettre au point l'élevage de *B. zonata* et à préciser l'influence de la température sur la durée de développement et la survie des différents stades pré-imaginaux ainsi que sur la maturation ovarienne des femelles. On obtiendra des données sur l'ensemble de son cycle, qui nous permettront de le comparer avec celui des espèces de *Ceratitis* déjà présentes dans l'île.
- d'autre part, à étudier certains aspects du comportement de cette mouche, comme son rythme circadien d'accouplement et de ponte.

Les résultats devraient permettre d'optimiser les conditions d'élevage de l'espèce au laboratoire et de mieux appréhender sa capacité à coloniser un environnement donné et à entrer en compétition avec les autres espèces. Enfin, ils constitueront des données de base indispensables à différents travaux prévus dans un proche avenir sur la modélisation des populations de mouches des fruits à La Réunion.



## 2. GENERALITES

### 2.1. BREVE PRESENTATION DE L'ILE

La Réunion est une île tropicale de l'Océan Indien située dans l'hémisphère sud (55°29' de longitude Est et 21°53' de latitude Sud). Elle fait partie de l'Archipel des Mascareignes.

Elle est la partie émergée d'un énorme volcan bouclier de 7000 m de hauteur. L'île couvre une surface de 2512 km<sup>2</sup> et culmine au Piton des Neiges à 3069 m d'altitude, où la température peut baisser jusqu'à 0°C en hiver.

De sa position tropicale, son état insulaire et son relief tourmenté résultent une multitude de microclimats, ce qui entraîne une grande diversité de plantes sauvages et cultivées. Toutefois, deux principales régions climatiques, qu'il faut également croiser avec l'altitude qui accentue les différentiels thermiques et pluviométriques (on parle des « Hauts » de l'île), peuvent être définies :

- la côte « au vent », orientée nord-est face aux alizés, reçoit 70 p 100 des précipitations (3 à 10 m/an), avec une température moyenne de 23°C ;
- la côte « sous le vent », orientée sud-ouest, reçoit, de façon très irrégulière, moins de 2 m/an et accuse une moyenne thermique de 24,5°C.

De plus, le climat réunionnais est marqué par deux grandes saisons :

- l'hiver austral, de mai à novembre, frais et sec,
- l'été austral, de décembre à avril, nettement plus chaud et pluvieux avec des précipitations extrêmes et des phénomènes cycloniques (Anonyme, 1999).

Politiquement et juridiquement, elle constitue un département français d'outremer (DOM).

## 2.2. IMPORTANCE DES CULTURES FRUITIERES A L'ILE DE LA REUNION

Moins du cinquième du territoire réunionnais est réservé à l'agriculture, soit en 1997, 42931 ha de surface agricole utile (SAU). Cette île tropicale est réputée pour sa grande diversification en plantes cultivées. Après la canne à sucre (25600ha) et les cultures légumières (3400ha) (CIRAD-Réunion, 1998), les cultures fruitières sont les plus importantes, occupant environ 2687 ha (soit 14% de la SAU et 20% des productions végétales) et fournissant annuellement 46000 tonnes de fruits pour une valeur de 318 millions de francs français (CIRAD-Réunion, 1998) soit 48,5 millions d'euros. La filière fruits est par ailleurs en nette expansion dans l'île .

Cette diversification des cultures date des années 70 et a été initiée par des mesures d'aide accordées par le Département afin de diminuer les importations massives de fruits et légumes mais aussi d'exporter des fruits d'excellente qualité gustative et sanitaire.

A la demande des agriculteurs et notamment pour lutter contre de nombreux problèmes phytosanitaires, souvent liés à l'introduction accidentelle de ravageurs (particulièrement des Tephritidae), le conseil général décida de faire appel à l'IRFA, Institut de Recherche sur les Fruits et Agrumes (aujourd'hui CIRAD-FLHOR), qui s'implanta à La Réunion en 1967.

Les principales espèces fruitières cultivées sont les litchis (1000 ha), les bananes (500 ha), les agrumes (385 ha), les ananas (330 ha) et les mangues (280 ha) (Anonyme, 1998). On y produit également des noix de coco, des pêches, des fraises, des avocats...

## 2.3. LES MOUCHES DES FRUITS A LA REUNION

### 2.3.1. les espèces de Tephritidae d'importance économique

Les sept espèces d'importance économique déjà présentes à la Réunion avant l'arrivée de *B. zonata* avaient été recensées par Etienne (1982). Quatre des huit espèces actuellement présentes font partie de la tribu des Ceratitidini, sous-tribu des Ceratitina et les quatre autres de la tribu des Dacini.

- Ceratitidini :

- *Neoceratitis cyanescens* (Bezzi) ou mouche de la tomate. Cette espèce, ravageur d'importance de certaines Solanacées cultivées, a récemment fait l'objet d'une thèse au CIRAD-FLHOR Réunion (Brevault, 1999),
- *Ceratitis (Pterandrus) rosa* (Karsch) ou mouche du Natal
- *Ceratitis (Ceratitis) capitata* (Wiedemann) ou mouche Méditerranéenne des fruits,
- *Ceratitis (Ceratitis) catoirii* Guérin-Mèneville ou mouche des fruits des Mascareignes. C'est une espèce endémique de la Réunion et de Maurice, de faible importance économique.

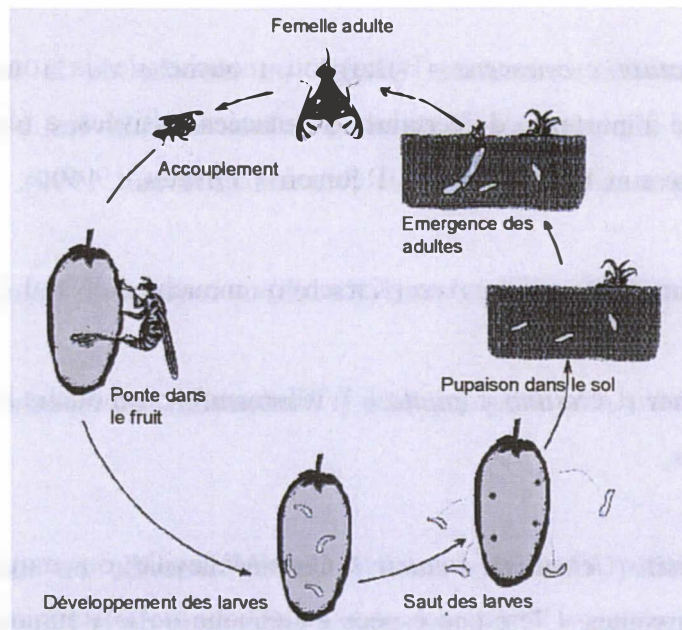
Les espèces les plus redoutables en arboriculture fruitière sont par ordre d'importance *C. rosa* et *C. capitata*.

- Dacini :

- *Dacus (Didacus) ciliatus* (Loew) ou mouche éthiopienne des Cucurbitaceae,
- *Dacus (Dacus) demmerezi* (Bezzi) ou mouche des Cucurbitaceae de l'Océan Indien,
- *Bactrocera (Zeugodacus) cucurbitae* (Coquillett) ou mouche du melon,

Ces trois espèces qui attaquent les cultures de Cucurbitacées ont fait l'objet d'une thèse récente conduite au CIRAD-FLHOR Réunion (Vayssières, 1999).

- *Bactrocera zonata* (Saunders) ou mouche de la pêche, espèce actuellement invasive à l'île de la Réunion, appartient également à la sous-famille des Dacinae, qui compte dans le monde environ 250 espèces d'importance économique (Hurtrel *et al.*, 2000). Ce nouveau ravageur fait l'objet de la présente étude.



**Figure 1.** Cycle de développement des mouches des fruits (Brévault, 1999).



**Stade pupal**



**Stade œuf**



**Stade larvaire**

**Figure 2.** Les différents stades de développement pré-imaginal chez les *Bactrocera* spp.  
(Photos : A. Franck)



Ces mouches constituent des ravageurs économiquement dangereux pour les cultures fruitières (diverses familles botaniques) et maraîchères (Solanaceae et Cucurbitaceae). Selon une estimation du CIRAD-FLHOR, les coûts (pertes directes et coûts de la lutte) s'élèveraient à sept millions de francs chaque année à La Réunion pour les seules cultures fruitières (BungeVivier, 1993). Le problème est d'autant plus important que les espèces de mouches tropicales sont le plus souvent polyphages et que, sous un tel climat, la fructification des plantes-hôtes peut s'échelonner sur toute l'année, ce qui assure le maintien et le renouvellement continu des populations de mouches (Etienne, 1982).

### **2.3.2. Eléments de biologie des mouches des fruits**

Le cycle de développement d'un insecte consiste en la succession de ses différents stades, de l'œuf à l'imago. Nous résumerons ci-dessous le cycle de développement rencontré chez les Tephritidae ( Fig 1 et 2).

Au cours de sa vie, l'insecte adulte aura à répondre à deux motivations principales : l'alimentation et la reproduction. La prise alimentaire est indispensable pour assurer une bonne reproduction car l'état nutritionnel de l'adulte affecte directement la maturation des gonades (Williamson, 1989).

#### **2.3.2.1. Développement pré-imaginal**

Les œufs qui mesurent environ un millimètre, sont blancs et légèrement arqués. A l'éclosion, de minuscules asticots émergent des œufs (Fig. 2). Les nutriments dont les larves se nourrissent, glucides, protéines et eau sont tirés du milieu dans lequel elles se développent, c'est-à-dire de la pulpe des fruits-hôtes. La durée du cycle larvaire, qui passe par trois stades (L1, L2, L3), peut varier énormément pour une espèce donnée en fonction du fruit-hôte (Fernandes-da-silva & Zucoloto, 1993).

A l'issue du troisième stade larvaire, l'asticot quitte le fruit en sautant, comme mû par un véritable ressort (Fig. 1 et 2). Il retombe alors sur le sol dans lequel il s'enfonce à faible profondeur pour se nymphoser. La nymphe consiste en un petit tonnelet marron (la pupe), duquel émergera l'adulte de mouche (Fig. 2).

### 2.3.2.2. Biologie des adultes

#### 2.3.2.2.1. Reproduction

Trois étapes importantes peuvent être distinguées dans la biologie de la reproduction des mouches des fruits. Il s'agit de la maturation des gonades et des gamètes, de l'accouplement et de la ponte.

#### Ovogenèse

Au cours de l'ovogenèse, trois étapes sont particulièrement remarquables (Tzanakakis & Koveos, 1986 ; Williamson, 1989) :

- 1- La pré-vitellogénèse : des trophocytes prévitellogéniques sont en cours de formation, les follicules ont un aspect translucide.
- 2- La vitellogénèse : les cellules folliculaires entreprennent leur différenciation, une partie de l'ovocyte prend une coloration blanchâtre.
- 3- L'ovocyte comprend un chorion bien développé et une membrane vitelline.

#### Accouplement

Un comportement de cour du mâle précède généralement l'accouplement. Le fait le plus remarquable est, chez certaines espèces, l'existence d'un appel phéromonal des mâles. C'est notamment le cas pour les mâles de *C. capitata* (Féron, 1962), *C. rosa* (Myburgh, 1962) et *C. catovirii* (Dos Reis Correia, 1999 ; Quilici *et al.*, 2002) ainsi que ceux de certaines espèces de Dacini (Dehecq, 1995). L'appel consiste en la dévagination d'une ampoule anale qui libère une phéromone très odorante attractive pour la femelle. Certains auteurs considèrent que le fruit est un lieu de rendez-vous pour la cour et l'accouplement, en particulier chez *C. capitata* (Féron, 1962).

#### Ponte

Lorsqu'une femelle de mouche des fruits répond à une motivation de ponte, plusieurs comportements peuvent être observés sur le fruit : la prospection, le nettoyage, l'agressivité envers d'autres femelles, la ponte ou la tentative de ponte, le « frottement » de l'ovipositeur et le nettoyage de l'ovipositeur.



Dès que la femelle est prête à pondre, après un certain temps de prospection, elle étend son ovipositeur et commence à forer dans le fruit-hôte. Les œufs sont pondus à quelques millimètres sous l'épiderme du fruit. Les dégâts se traduisent par une décoloration de l'épiderme du fruit au niveau de la piqûre puis par la pourriture du fruit.

Après la ponte, les femelles de nombreuses espèces marquent le site de ponte en y déposant une phéromone (HMP : Host Marking Pheromone) qui inhiberait la ponte d'autres femelles (Prokopy & Roitberg, 1989).

#### **2.3.2.2. Alimentation**

L'insecte parfait, tout comme la larve, a besoin d'une alimentation glucidique et protéique. L'adulte s'alimente principalement sur les feuilles des plantes hôtes et non-hôtes où il trouve les différents nutriments dont il a besoin : sucre, protéines et l'eau dans la sève ou les sécrétions foliaires des plantes, les colonies bactériennes, les levures, le miellat d'Homoptères ou les fientes d'oiseaux (Prokopy & Roitberg, 1989).

#### **2.3.3. *Bactrocera zonata* (Saunders)**

##### **2.3.3.1. Origine et distribution**

Originaire de l'Asie tropicale, la mouche de la pêche, *Bactrocera zonata* (Saunders), est l'une des mouches des fruits les plus répandues en Inde. Elle fut décrite pour la première fois au Bangladesh par Saunders en 1841 ; par la suite, sa présence a été signalée dans beaucoup de régions du monde y compris l'Afrique et le monde arabe. Elle est signalée au Laos, en Birmanie, en Thaïlande, au Vietnam, en Arabie Saoudite, au Népal, en Oman, aux îles Moluques, au Pakistan, au Sri Lanka. Récemment, elle a envahi l'Égypte, l'île Maurice et l'île de La Réunion (Alzubaidy, 2000 ; Hurtrel *et al.*, 2002). Fletcher (1917) rapportait que les premières mentions de l'espèce faisaient état d'attaques sur pêches et mangues et la présentaient comme un ravageur secondaire. Cependant, par la suite, en raison de ses fortes pullulations et de l'élargissement de sa gamme d'hôtes, elle a atteint le statut d'un ravageur de grande importance économique (Agarwal & Kapoor, 1986).

Comme pour beaucoup d'insectes nuisibles, les barrières géographiques ne constituent plus un obstacle à la dispersion de la mouche de la pêche qui utilise les moyens de transport modernes et sophistiqués mis au point par l'homme pour envahir et coloniser de nouveaux territoires.



**Photo 1.** Femelle de *Bactrocera zonata* sur un fruit-hôte (prune du Natal) (Photo : A. Franck)



**Photo 2.** Mâle de *Bactrocera zonata* sur feuillage de prunier du Natal (Photo : A. Franck)

Au niveau des îles de l'Océan Indien, cette mouche a été repérée pour la première fois dans les Mascareignes en 1987, à Maurice. Un réseau de piégeage de surveillance a été installé à La Réunion en 1990 et en 1991, le premier mâle y était capturé. Vu la remarquable faculté d'adaptation et le potentiel exceptionnel de fécondité de cette mouche, elle est devenue un ravageur de quarantaine et fait l'objet d'une attention particulière avec notamment la mise en place, à La Réunion, d'un programme de détection permanent et depuis janvier 2000, d'un dispositif important visant à son éradication de l'île, objectif qui a été abandonné en 2001 (Hurtrel *et al.*, 2002).

### 2.3.3.2. Description

L'adulte est de couleur rougeâtre et de forme allongée avec un abdomen ovale, rétréci en avant et annelé de jaune. Les mâles présentent un peigne de soies sur le troisième segment abdominal. Le thorax présente un scutellum uniforme et de couleur jaune clair, et un scutum muni de deux bandes jaunes longitudinales. Les ailes ont une tache noire à l'extrémité mais elles sont dépourvues de bandes transversales le long de la nervure médio-cubitale (Quilici & Jeuffrault, 2001) (Photos 1 et 2).

### 2.3.3.3. Gamme de plantes-hôtes

On connaît actuellement dans le monde près de 30 espèces de fruits hôtes de *B. zonata*.

A la Réunion les fruits cultivés risquant le plus d'être touchés sont :

la mangue (*Mangifera indica* L.), la goyave (*Psidium guajava* L.), la pêche (*Prunus Persica* L. Batsch) et le jujube (*Ziziphus mauritiana* Lamarck).

Dans d'autres pays notamment en Asie, les attaques sont également possibles sur papaye, annones, bibasse, figue, agrumes, pomme, margoze, poire, sapote, datte, grenade, atte, coing, palisa (graine bébé) et certaines cultures maraîchères comme la tomate, l'aubergine, le gombo, le melon, la pastèque, la citrouille, la calebasse, la pipangaille (Hurtrel *et al.*, 2002).

Certaines plantes hôtes sont en outre très favorables à la multiplication de l'espèce : le fruit du badamier (*Terminalia catappa* L.), la jambrosade ou le jamrosat (*Syzygium jambos* L. Alston) ou le bringellier marron (*Solanum auriculatum* Alt.) (Hurtrel *et al.*, 2002).



Au total, à La Réunion, Hurtrel *et al.* (2002) ont pour l'instant repertorié dix plantes-hôtes de *B. zonata* dont les plus sensibles sont le manguier (*Mangifera indica* L.), le badamier (*Terminalia catappa* L.) et la goyave (*Psidium guajava* L.). Les larves arrivent à se développer très bien dans leurs fruits.

#### **2.3.3.4. Biologie**

Selon la température, la durée de développement de la mouche de la pêche varie entre 25 et 40 jours. La femelle dépose ses œufs sous la peau du fruit mûrissant en des lots de 10 à 40 et peut pondre jusqu'à 800 œufs pendant toute sa vie. Le stade œuf dure 1 à 5 jours et les larves se développent dans le fruit pendant une période de 10 à 15 jours, avant de se nymphoser dans le sol à une profondeur de 2 à 15 cm. Le stade pupal dure également 10 à 15 jours au bout desquels les adultes émergent. Ces derniers atteignent la maturité sexuelle entre dix et dix-neuf jours après l'émergence. L'accouplement a lieu au sein d'un groupe de mâles et est suivi peu de temps après par le début de la période de ponte (Alzubaidy, 2000).

Les adultes matures s'accouplent au laboratoire en lumière artificielle faible et dans la nature, au cours de la période crépusculaire (FAO/IAEA/USDA, 2000). Les mâles et les femelles peuvent s'accoupler plusieurs fois ; par contre, une femelle fécondée une seule fois peut pondre des œufs fertiles dès 2 à 7 jours après l'accouplement, puis tout au long de sa vie active. Les femelles peuvent pondre toute la journée mais déposent la majorité de leurs œufs dans l'après-midi (FAO/IAEA/USDA, 2000) (Fig. 3).

La larve est un asticot de couleur blanc-crème, qui, pouvant atteindre environ 7 à 10 mm de long, se développe à l'intérieur du fruit. La nymphe consiste en un petit tonnelet marron (la pupa), duquel émergera l'adulte de la génération suivante (Photo 6).

#### **2.3.3.5. Importance économique**

Cette mouche attaque une large gamme de plantes parmi lesquelles figurent des cultures commerciales comme le manguier, les agrumes, le pêcher pour ne citer que celles-là. Elle peut étendre considérablement sa gamme d'hôtes au fur et à mesure qu'elle colonise de nouveaux environnements.

Au Proche Orient, les pertes potentielles dues à l'action de ce ravageur sont estimées à 75-100 millions de dollars sans tenir compte des pertes liées aux restrictions commerciales sur l'exportation des fruits-hôtes (Abdullah *et al.*, 1999). Les niveaux d'infestation peuvent atteindre jusqu'à 30 p.100 même avec de nombreux traitements insecticides et se solder, en absence de traitements appropriés, par la perte totale de la récolte. La mouche est présente toute l'année dans la plupart des vergers établis à des fins commerciales. En Egypte, les pertes occasionnées par la mouche de la pêche sont évaluées à 177 millions de dollars annuellement. Qui plus est, elle est douée d'une grande capacité de dispersion et serait susceptible de coloniser la plupart des pays méditerranéens et le reste du continent africain (Abdullah *et al.*, 1999).

En résumé, les dégâts causés par la mouche limitent la qualité et la quantité de fruits et font augmenter les coûts de production. En outre, les piqûres de ponte faites dans les fruits peuvent servir de portes d'entrée à des agents pathogènes, provoquant ainsi rapidement la pourriture des fruits. Ils diminuent la disponibilité des fruits de qualité sur le marché.

#### **2.3.3.6. Lutte contre *Bactrocera zonata* à La Réunion**

A l'île de La Réunion, la lutte contre la mouche de la pêche fait l'objet d'un arrêté préfectoral la rendant obligatoire en tout lieu et en tout temps. La méthode de lutte appelée M.A.T (Male Annihilation Technique) est basée sur l'éradication des mouches du sexe mâle. La destruction des mâles est obtenue à l'aide d'un attractif sexuel (méthyl-eugénol) associé à un insecticide, dans un support de type « plaquette tueuse » (ou « killer-block »). Ces plaquettes sont constituées de carrés de contre-plaqué imbibé d'un mélange de méthyl-eugénol et d'un insecticide à base de malathion. Elles sont accrochées aux arbres hôtes de la mouche et placées hors de portée humaine. Une densité de 400 plaquettes au kilomètre carré est préconisée, ce qui devrait permettre de lutter efficacement contre ce nouveau ravageur (Hurtrel *et al.*, 2001).

En plus de ces plaquettes tueuses, des traitements par taches sont réalisés régulièrement dans les foyers principaux. Ces traitements consistent à pulvériser par taches un mélange d'insecticide et d'attractif alimentaire (qui attire les mâles et surtout les femelles) sur les arbres de la zone traitée avec une densité moyenne de 200 taches / ha ( Hurtrel *et al.*, 2001).

En parallèle, l'évolution des populations de la mouche est suivie sur toute la zone de lutte à l'aide d'un réseau de pièges à raison d'un piège par kilomètre carré (chaque piège contenant un attractif pour les mâles de la mouche et un insecticide qui les tue dès leur entrée) (Photo 7 en annexe 1). Le nombre de mouches capturées est noté chaque semaine, permettant ainsi de suivre l'impact de la lutte menée (Hurtrel *et al.*, 2001).

## **2.4. RELATION ENTRE TEMPERATURE ET DEVELOPPEMENT CHEZ LES INSECTES**

Il est reconnu depuis longtemps que la température constitue le facteur le plus déterminant du développement des stades immatures et de la maturation des adultes chez la plupart des insectes.

De nombreuses études ont été réalisées pour déterminer les relations température-taux de développement chez les mouches des fruits, dans le but d'optimiser les élevages de masse en conditions constantes et mieux comprendre et prévoir la dynamique des populations au champ notamment par l'utilisation de modèles mathématiques.

### **2.4.1. Modèles**

#### **2.4.1.1. Modèles linéaires**

La méthode la plus communément utilisée pour prévoir le taux de développement de différents stades est le modèle des sommes de températures. Cette approche est basée sur l'hypothèse qu'au-dessus d'une certaine température-seuil de développement, la relation entre la température et le taux de développement est linéaire. Ainsi un nombre constant d'unités de température (généralement exprimé en degrés-jours) au-dessus de ce seuil est nécessaire pour compléter le développement (Wagner *et al.*, 1984 ; Fletcher, 1989).

Pour établir cette relation, la durée de développement des différents stades (c'est-à-dire le temps requis pour qu'au moins 50 p. 100 des individus accomplissent leur développement) est déterminée pour une série de températures constantes au laboratoire. Le taux de développement ( $100 / \text{temps de développement}$ ) est ensuite calculé pour chaque température.



La température-seuil de développement,  $t$  (la température en-dessous de laquelle le développement est nul) est alors déterminée par extrapolation. La constante  $K$  ( le nombre de degrés-jours au-dessus de la température-seuil requis pour compléter le développement), est calculée à partir de l'équation de régression, en utilisant la relation  $y = K / (x-t)$  (Fletcher, 1989).

Quand le modèle des sommes de températures est utilisé pour calculer les temps de développement dans le cas de températures journalières fluctuantes, le nombre de degrés-jours par jour peut être déterminé par la formule  $((T_{\max} + T_{\min}) / 2) - t$  si la température minimale ( $T_{\min}$ ) reste au-dessus de la température-seuil de développement. Dans d'autres cas, un relevé de température par heure ou une méthode de reconstruction pour obtenir des données de températures journalières appropriées entre  $T_{\max}$  et  $T_{\min}$  seront nécessaires pour calculer les temps de développement à l'aide de modèles informatiques.

Bien que Davidson (1944) ait montré le premier que la courbe taux de développement-température obtenue à partir de températures constantes est sigmoïde plutôt que linéaire, le modèle des sommes de températures a prouvé qu'il était suffisamment précis pour prévoir les temps de développement au champ, particulièrement quand les températures restent dans une gamme favorable au développement (Fletcher, 1989).

Cependant, des problèmes peuvent se poser dans la prévision des taux de développement pour les périodes de l'année où la température moyenne se situe autour de la température-seuil de développement ou lorsqu'elle passe au-dessus du niveau optimal de développement. En effet, la relation température-taux de développement dévie le plus de la linéarité aux abords des températures extrêmes. De plus, bien que la gamme de températures constantes dans laquelle le développement peut se réaliser soit limitée par les seuils létaux inférieurs et supérieurs, la plupart des stades immatures peuvent survivre et se développer pendant de courtes périodes au-delà de ces seuils.

Ce problème est particulièrement important dans la prévision de la vitesse de la maturation ovarienne des femelles car les adultes peuvent souvent survivre pendant de longues périodes alors que les températures sont proches des seuils de maturation. Dans de telles situations, la maturation ovarienne n'est pas simplement bloquée mais peut régresser par résorption des oocytes en développement. Dans ce cas, le modèle des sommes de températures, et par conséquent n'importe quel modèle qui relie une vitesse de maturation à la température par un simple procédé d'addition, s'avère inapproprié (Fletcher, 1989).

#### **2.4.1.2. Modèles non linéaires**

En raison des approximations inhérentes aux modèles linéaires et des cas particuliers à proximité des minima et maxima létaux, des modèles non linéaires ont été utilisés pour décrire les durées de développement (Messenger & Flitters, 1958). Cette approche a été facilitée par la disponibilité croissante de calculateurs programmables puis d'ordinateurs qui allègent les calculs nécessaires aux chargements des modèles non linéaires.

Pendant longtemps, la fonction non linéaire la plus communément utilisée a été l'équation logistique ou courbe sigmoïde. Cependant, celle-ci présente le même inconvénient majeur que les modèles linéaires car elle décrit mal la relation du taux de développement autour du seuil supérieur de température.

Aussi des fonctions polynomiales ont-elles été utilisées pour décrire l'ensemble de la relation température-taux de développement. Elles permettent de calculer les temps de développement par un algorithme, qui somme les pourcentages de développement calculés grâce à une série d'intervalles de temps très petits, jusqu'à ce que 100 p 100 du développement pour le stade considéré soit atteint (Fletcher, 1989).

## 2.5. SYNTHÈSE DES ÉTUDES ANTERIEURES SUR LE CYCLE DE DÉVELOPPEMENT DE *BATROCERA ZONATA*

### 2.5.1. Stades immatures

Comme pour les autres mouches des fruits, chez la mouche de la pêche, la durée de développement des différents stades est fonction de la température. Les stades œuf, larves et adultes sont influencés par la température de l'air tandis que le stade pupal est affecté par la température du sol. L'air aussi bien que le sol a des seuils de température en-dessous desquels aucun développement mesurable n'a lieu. Le développement larvaire de *B. zonata* dure environ 4 à 16 jours selon la température. Le stade pupal est le stade diapausant qui peut durer de 4 à 16 jours en été et jusqu'à 46 jours en hiver (FAO/IAEA/USDA, 2000). L'abondance de la mouche de la pêche dans une région est notamment fonction de la gamme de températures favorable. Elle est active toute l'année si la température dépasse 16°C.

Une étude conduite au Pakistan a montré que les populations de la mouche de la pêche se développent très bien dans la gamme de températures comprises entre 19,2°C et 31,7°C et qu'elles connaissent un déclin de décembre à février, lorsque les températures sont comprises entre 10,1°C et 12,2°C. Les auteurs considèrent que ce déclin serait dû au manque de fruits hôtes et au froid (Chaudhry & Jamal, 2000).

Mohamed (2000) a étudié les effets d'une gamme de températures constantes sur le développement des stades immatures de *B. zonata*. Il a montré que le temps requis pour compléter l'embryogenèse diminuait quand la température s'élevait et que la période d'incubation des œufs durait respectivement 12,7 ; 4,7 ; 3,0 ; 3,0 et 3,5 jours à 15, 20, 25, 30 et 35°C. La température-seuil de développement des œufs est de 10°C. Les constantes thermiques requises pour le développement de ce stade sont respectivement 63,5 ; 46,6 ; 45,6 ; 60 et 87,5 °j à 15, 20, 25, 30 et 35°C. Le pourcentage d'éclosion le plus élevé (95 p. 100) a été enregistré à 25°C tandis que les plus faibles (18,6 et 60,7 p. 100) ont été obtenus à 15 et à 35°C. Les résultats de cette étude ont montré que la gamme de températures la plus favorable à l'éclosion des œufs s'étend de 20 à 30°C.



Par ailleurs, la durée du développement larvaire est de 21,2 ; 13,1 ; 8,2 ; 6,1 et 6,9 jours à 15, 20, 25, 30 et 35°C respectivement et la température-seuil de développement larvaire est de 10°C. Le pourcentage de pupaison est élevé à 25 et 30°C (86,7 p 100 et 84,6 p 100) ; il est de 68 p. 100 à 20°C, 61,1 p. 100 à 35°C et 30, 1 p. 100 à 15°C. La plus longue durée du stade pupal (40,1 jours) a été enregistrée à 15°C tandis que la durée la plus courte (7,0 jours) a été observée à 30°C. La température-seuil de développement du stade pupal est de 11,75°C. Les constantes thermiques nécessaires pour la durée de ce stade sont de 130,3 ; 132,8 ; 102,6 et 128,3 degrés-jours à 15, 20, 25 et 30°C, respectivement. Le pourcentage d'émergence est de 85,2 p. 100 et 84,7 p. 100 à 25 et 30°C, tandis qu'il est de 64 p. 100 à 20°C et 26,0 p. 100 à 15°C. La température de 35°C ne permet pas l'émergence des adultes. Ainsi, les températures comprises entre 25 et 30°C représentent la gamme favorable au développement des pupes et à l'émergence des adultes (Mohamed, 2000).

#### **2.5.2. Maturation ovarienne**

Malgré la nécessité d'établir une relation température-taux de maturation des femelles pour prédire les temps de générations, très peu d'études détaillées ont été réalisées sur la relation entre la température et la maturation des œufs chez les Tephritidae. Si des études sur la pré-oviposition ont été conduites chez certaines espèces comme diverses *Ceratitidis* spp., à ce jour aucune n'a montré la relation entre la température et la maturation des femelles de *B. zonata*.





**Photo 3.** Cage d'élevage de *Bactrocera zonata* (Photo: A. Franck)



### 3. MATERIEL ET METHODES

#### 3.1. MATERIEL BIOLOGIQUE

Les mouches utilisées dans le cadre de cette étude ont été collectées dans la nature et élevées au laboratoire d'Entomologie du CIRAD (3P) établi à Saint-Pierre (Ligne-Paradis) dans une salle climatisée munie d'un système d'éclairage semi-artificiel constitué de lampes à néon qui fournissent une photophase de 12h (les néons s'allumant à 6h et s'éteignant à 18h) et de lumière naturelle pénétrant dans la pièce grâce à une ouverture transparente ; les conditions de température et d'hygrométrie sont respectivement de  $25 \pm 1$  °C et  $80 \pm 10$  p.100.

Les adultes sont réunis dans une grande cage en plexiglas (50 x 50 x 60 cm) comportant deux pondoirs (entonnoirs rouges percés de trous), l'un sur la face supérieure et l'autre posé à l'intérieur de la cage. L'alimentation est constituée de sucre de canne et d'hydrolysât enzymatique de levure de bière (ICN Biomedicals, Aurora, USA). L'eau est fournie dans un récipient dont le couvercle est percé et traversé par un morceau d'éponge (Photo 3).

Les œufs sont collectés tous les jours et déposés sur un premier milieu artificiel utilisé pour l'élevage de *C. capitata* et dénommé « *C. capitata* N°1 » (Photo 5). Lorsque les larves de *B. zonata* ont effectué une partie de leur développement, on ajoute alors un second milieu (milieu « *C. capitata* N°2 ») qui est un milieu liquide devant être mélangé avec du son de blé. La composition de ces milieux larvaires est présentée dans le tableau 1. Des essais préliminaires réalisés sur 4 milieux différents (Annexe 3), (milieu mauricien, milieu pakistanais, milieu « *C. capitata* » et milieu « *C. rosa* ») qui étaient alors disponibles au laboratoire nous ont conduit à sélectionner le milieu « *C. capitata* » mieux adapté au développement des larves de *B. zonata*. A la fin du troisième stade larvaire, les larves sautent et effectuent leur pupaison dans des boîtes prévues à cet effet, dont le fond est garni de sable qui est ensuite tamisé afin de récupérer les pupes (Photo 6).



**Photo 6.** Larves et pupes de *Bactrocera zonata* sur milieu « *C. capitata* 2 » (Photo : A. Franck)

Milieux larvaires « <i>C. capitata</i> » n°1 et n°2		
	Milieu n°1	Milieu n°2
Poudre de carotte déshydratée	56 g	
Levure de bière	52 g	75 g
Sucre		150 g
Pomme de terre déshydratée	90 g	
Eau distillée + Nipagine (2‰) + Benzoate de sodium (2‰)	450 ml	500 ml
Acide chlorhydrique (16,5‰)	20 ml	20 ml

**Tableau 1.** Composition des milieux artificiels pour « *Ceratitidis capitata* » utilisés pour l'élevage de *Bactrocera zonata* (d'après Etienne, 1973)

## 3.2. METHODES D'EXPERIMENTATION ET D'ANALYSE

### 3.2.1. Comportement d'accouplement et de ponte

Trente mâles et trente femelles âgés de 17 jours ont été placés dans une petite cage cubique (40 x 40 x 40 cm). Le nombre d'accouplements et le nombre de couples formés ont été observés et enregistrés toutes les heures de l'aube au crépuscule puis tous les ¼ d'heure pour la période allant du début des accouplements jusqu'à la tombée de la nuit. L'essai a été répété tous les deux jours pendant 4 jours.

Par ailleurs, dans une cage de mêmes dimensions que la précédente et contenant environ 100 mâles et 100 femelles âgés d'un mois, un dôme rouge percé de trous est installé de 6h à 18h en vue de collecter des œufs toutes les heures. Un quartier d'orange est en outre placé sous le dôme en vue d'inciter les femelles à pondre. Lors de chaque retrait du dôme, les mâles et les femelles (en ponte ou non) présents sur celui-ci sont dénombrés. Après le retrait du pondoir, le nombre de pontes et le nombre d'œufs par ponte ainsi que le nombre total d'œufs sont notés. On a réalisé 4 répétitions pour cette expérimentation, à raison d'une tous les deux jours.

### 3.2.2. Biologie

L'étude a été effectuée au laboratoire à partir des mouches d'élevage de générations comprises entre 0 et 3, la génération 0 étant la souche sauvage. Le temps requis pour qu'au moins 50 p.100 des individus complètent leur développement est déterminé aux températures constantes suivantes ( $\pm 1^\circ\text{C}$ ) : 15, 20, 25, 30 et  $35^\circ\text{C}$ .

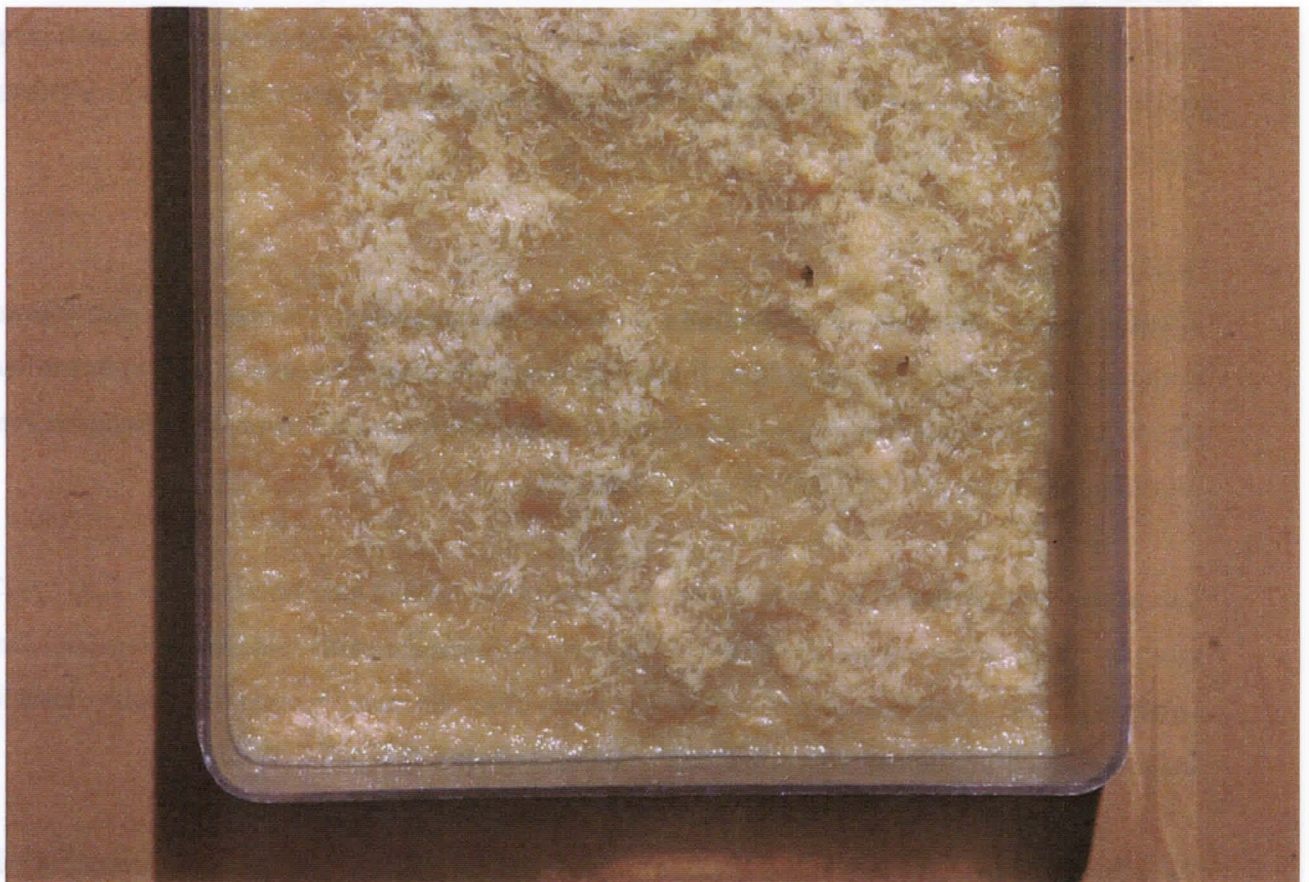
Les essais sont conduits en étuves thermo-régulées où règnent une photopériode L12 : D12 avec une intensité lumineuse de  $2000 \pm 15$  lux et une humidité relative de  $80 \pm 10$  p.100. Ces conditions sont quotidiennement vérifiées à l'aide d'un thermo-hygrographe (Jules Richard Instruments), d'un thermomètre à mercure et d'un luxmètre (LX-105, LT-Lutron).

La méthode utilisée est identique à celle précédemment mise en oeuvre pour l'étude de la biologie de *N. cyanescens* (Brévault & Quilici, 2000) et des *Ceratitis* spp. (Duyck & Quilici, 2002).





**Photo 4.** Œufs de *Bactrocera zonata* (Photo : A. Franck)



**Photo 5.** Œufs de *Bactrocera zonata* sur milieu « *C. capitata* N°1 » (Photo : A. Franck)

### Stade embryonnaire

Les œufs sont collectés à l'aide d'un pondeur artificiel constitué d'un entonnoir en plastique rouge, percé de petits trous permettant aux femelles d'y insérer leur ovipositeur, garni d'une éponge humide et d'une source d'odeur stimulant la ponte (ex : quartier d'orange). Pour la collecte des œufs, le pondeur artificiel est placé dans la cage d'élevage pendant une période de deux heures (Photo 3).

On place cent œufs collectés au hasard à l'aide d'un pinceau fin, sur un papier buvard sombre imbibé d'une solution de nipagine/benzoate de soude (2g+2g/L), placé dans une boîte de Pétri de 9 cm de diamètre (Photo 4). Ces boîtes de Pétri sont ensuite installées sur des grilles dans des boîtes rectangulaires fermées (dimensions : 40 x 15 x 8 cm) contenant de l'eau afin de conserver une forte hygrométrie à l'intérieur (cf photos 8 en annexe 2).

Les œufs sont inspectés toutes les deux heures sous la loupe binoculaire, afin de déterminer le moment de leur éclosion. On effectue quatre répétitions pour chaque essai.

### Stades larvaires

Les jeunes larves (L1) sont collectées juste après l'éclosion de l'œuf, à l'aide d'un pinceau fin. Le prélèvement des jeunes larves s'effectue au cours d'une période de deux heures.

On place ainsi 100 jeunes larves collectées au hasard, dans une petite boîte rectangulaire (dimensions : 9 x 6 x 2 cm) contenant le milieu artificiel « *C. capitata* N°1 ». On effectue 4 répétitions pour chaque essai. Au bout de quelques jours, les larves plus âgées sont ensuite transférées dans une boîte contenant du milieu artificiel « *C. capitata* N°2 » et du son de blé, elle-même placée dans une cuvette plastique dont le fond est garni d'une couche de sable sec (Photos 5 et 6) et (cf matériel utilisé : photos 9 en annexe 2).

En fin de développement larvaire, le sable des cuvettes est tamisé soigneusement et délicatement 3 fois par jour (à 7h, 13h et 19h), afin de prélever les jeunes pupes juste après leur formation. Après tamisage, on relève le nombre de larves (ayant sauté mais non encore empupées), qui sont replacées dans une boîte avec du sable jusqu'à leur pupaison, et le nombre de pupes nouvellement formées, qui sont collectées. On note pour chaque lot l'intervalle au cours duquel a lieu la pupaison.

Chaque lot prélevé à un intervalle de temps donné est ensuite conservé individuellement afin de déterminer le sexe de l'adulte et d'observer ainsi une éventuelle différence de durée de développement larvaire entre les mâles et les femelles.

### Stade nymphal

Les jeunes pupes sont collectées par tamisage doux juste après leur formation. Le prélèvement des jeunes pupes s'effectue au cours d'une période de deux heures.

On place 100 jeunes pupes collectées au hasard, dans une petite boîte cylindrique (dimensions : 8 cm x 5 cm) contenant du chamex légèrement humidifié. On effectue 4 répétitions pour chaque essai (cf photo 10 en annexe 2).

En fin de développement pupal, les émergences sont observées 3 fois par jour (à 7h, 13h et 19h) en déterminant pour chaque lot l'intervalle de temps au cours duquel a eu lieu l'émergence. Le sexe des adultes est relevé afin d'observer une éventuelle différence de durée de développement pupal entre les mâles et les femelles.

### Maturation ovarienne

Pour chacune des températures d'étude on place dans une cage (dimensions : 30x30x30 cm) 300 mouches (150 mâles + 150 femelles) récemment émergées (âge inférieur à 4h). L'alimentation est composée de sucre de canne cristallisé, d'hydrolysât enzymatique de levure de bière et d'eau. Un lot de 10 femelles par répétition est disséqué quotidiennement pour vérifier la présence ou l'absence d'œufs matures dans les ovaires.

Chaque femelle est disséquée sous loupe binoculaire, l'appareil génital étant extrait après incision de l'abdomen juste au-dessus de l'ovipositeur. Le stade de développement ovarien est déterminé en se basant sur l'observation du follicule le plus avancé, en utilisant la grille de notation, définie par Tzanakakis & Koveos (1986) :

- Classe 1 : prévitellogenèse,
- Classe 2 : début de vitellogenèse (le vitellus occupe moins de la moitié du futur ovocyte),
- Classe 3 : fin de vitellogenèse (le vitellus occupe plus de la moitié du futur ovocyte),
- Classe 4 : maturité (observation de 0 à 25 œufs),
- Classe 5 : maturité (observation de 25 à 50 œufs),



- Classe 6 : maturité (observation de plus de 50 œufs).

### Modèle des sommes de températures

La méthode de calcul de la constante thermique et de la température-seuil de développement a été détaillée précédemment (cf. page 13). Par ailleurs, nous déterminerons pour chaque stade l'étendue du temps de développement (Etendue = max[temps de développement] – min[temps de développement]), c'est à dire le laps de temps entre la première et la dernière éclosion, entre la première et la dernière pupaison ou entre la première et la dernière émergence.

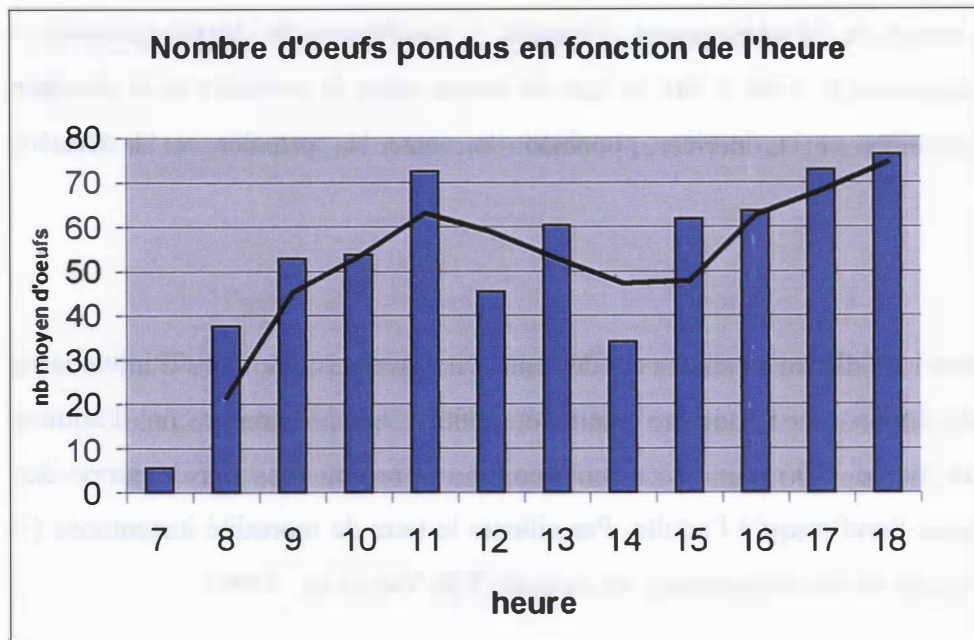
### Taux de survie

Le taux de survie entre les différents stades est déterminé en divisant le nombre d'individus en vie à la fin d'un stade donné par le nombre d'individus initial. Ainsi le nombre final d'adultes obtenus à partir d'un lot de 100 œufs est calculé comme le produit des taux de survie des différents stades depuis l'œuf jusqu'à l'adulte. Par ailleurs le taux de mortalité instantanée ( $= -\ln[\text{taux de survie}] / \text{temps de développement}$ ) est calculé (Rijn Van *et al.*, 1995).

### Analyses statistiques

Les tests de développement sont répétés 4 fois pour chaque stade immature. Les données sont analysées selon un dispositif en blocs randomisés, en considérant les répétitions comme de multiples observations pour chaque température étudiée. Des analyses de la variance (ANOVA) sont réalisées pour analyser les effets des traitements sur les paramètres mesurés. Les moyennes sont ensuite comparées chaque fois que c'est nécessaire par un test de Student Newman-Keuls ( $P = 0,05$ ) (StatSoft-France, 1997).





**Figure 3.- Rythme circadien de ponte de *Bactrocera zonata***

## 4. RESULTATS

### 4.1. ELEVAGE DE *BACTROCERA ZONATA* AU LABORATOIRE

Cette étude a montré qu'il était possible d'élever avec succès *B. zonata* au laboratoire. En effet, placées dans des cages sous les conditions contrôlées que nous avons utilisées, les mouches parviennent à bien s'alimenter à partir du sucre de canne utilisé comme source d'énergie, de l'hydrolysât de protéines et de l'eau.

Par ailleurs, les milieux artificiels larvaires dénommés « milieux *Ceratitis capitata* N°1 et N°2 » (cf tableau 1) utilisés pour le développement des larves de *B. zonata* ont permis d'obtenir des taux de survie très élevés (par ex. 98 p.100 à 25°C) (Tableau 3).

### 4.2. COMPORTEMENT DE *BACTROCERA ZONATA* AU LABORATOIRE

Une fois leur maturité sexuelle atteinte (les premiers accouplements en élevage interviennent lorsque les adultes sont âgés de 15 à 19 jours à 25°C), les mouches s'accouplent, lorsque l'intensité lumineuse décroît, en fin d'après-midi à partir de 17h. Les femelles pondent dans des entonnoirs ou des dômes rouges ou jaunes percés de trous dans lesquels elles introduisent leur ovipositeur afin d'y déposer leurs œufs. L'étude a montré également que l'ajout d'un quartier de fruits-hôtes (par exemple l'orange) pouvait contribuer à optimiser la ponte. L'accouplement de ces mouches en élevage demeure par contre un problème majeur qui affecte directement le taux de survie des œufs. Ainsi, au cours d'un essai préliminaire réalisé dans des conditions favorables à l'accouplement, nous n'avons pu observer la formation d'aucun couple.

Des observations portant sur le rythme circadien de ponte de *B. zonata* ont permis de constater que cette espèce pond tout le long de la journée avec cependant un pic en fin de matinée et un autre en fin d'après-midi (Fig. 3). Par contre, elles montrent que l'activité de ponte cesse durant la nuit et qu'elle est très forte si les pondoires sont présentés aux mouches tous les deux ou trois jours.

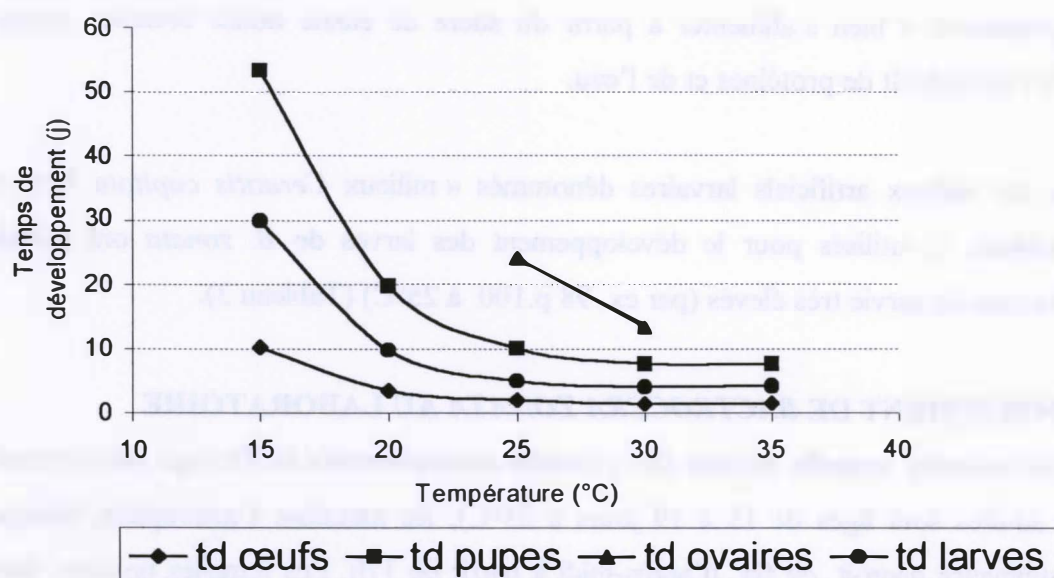


Figure 4. Relation entre température et temps de développement (j) pour les différents stades immatures et la maturation ovarienne des femelles chez *Bactrocera zonata*

### 4.3. INFLUENCE DE LA TEMPERATURE SUR LA DUREE DU CYCLE DE DEVELOPPEMENT PRE-IMAGINAL ET SUR LA MATURATION OVARIENNE

D'après notre étude, il faut à *B. zonata* 41 et 27 jours pour compléter son cycle de développement (de l'œuf à l'œuf) à 25 et 30°C respectivement. Les temps de développement de la mouche du stade œuf au stade adulte entre 15 et 30°C varient entre 10 et 2 ; 30 et 4 et 53 et 8 jours pour les œufs, les larves et les pupes respectivement. Le temps de développement le plus court est enregistré à 30 ou 35°C et le plus long à 15°C pour tous les stades étudiés à l'exception de la maturation ovarienne. Celle-ci ne s'effectue pas à 15 ou même 20°C alors qu'elle est atteinte très rapidement à 30°C (Tableau 2). A 35°C, seule une faible proportion de femelles (10%) présentaient des ovaires matures à la fin de notre étude, soit à l'âge de 17 jours.

Les temps de développement (TD) des œufs et des pupes sont significativement différents pour tous les couples de températures compris entre 15 et 30°C mais non entre 30 et 35°C ( $F = 930,8$  ;  $dl = 4,15$  ;  $p < 10^{-5}$ ) et ( $F = 58094,9$  ;  $dl = 4,15$  ;  $p < 10^{-5}$ ) tandis que dans le cas des larves, ils ne le sont que pour les couples compris entre 15 et 25°C mais non entre 25 et 35°C ( $F = 859,4$  ;  $dl = 4,15$  ;  $p < 10^{-5}$ ).

Par ailleurs, les résultats obtenus montrent que, de 15 à 30°C, le taux de développement augmente avec la température pour tous les stades étudiés à l'exception de la maturation ovarienne. Parallèlement, on note une nette corrélation négative entre la température et le temps de développement jusqu'à 30°C pour tous les stades immatures (Fig. 4 et 5).

Dans la gamme de températures étudiées, le développement embryonnaire ainsi que les développements larvaire et nymphal sont les plus rapides à 30 ou 35°C (Tableau 2). En ce qui concerne l'éclosion des œufs, le coefficient de variation de l'étendue le plus faible est enregistré à 35°C. L'étendue varie fortement avec la température pour le développement embryonnaire et peu pour les autres stades. Il en est de même de son coefficient de variation qui ne varie pas avec la température pour les stades larvaire et nymphal (Tableau 2).

**Tableau 2.** Temps de développement des différents stades chez *Bactrocera zonata* à une série de températures constantes (n = 4 répétitions pour le développement embryonnaire, larvaire et nymphal ; n = 3 répétitions pour la maturation ovarienne des femelles).

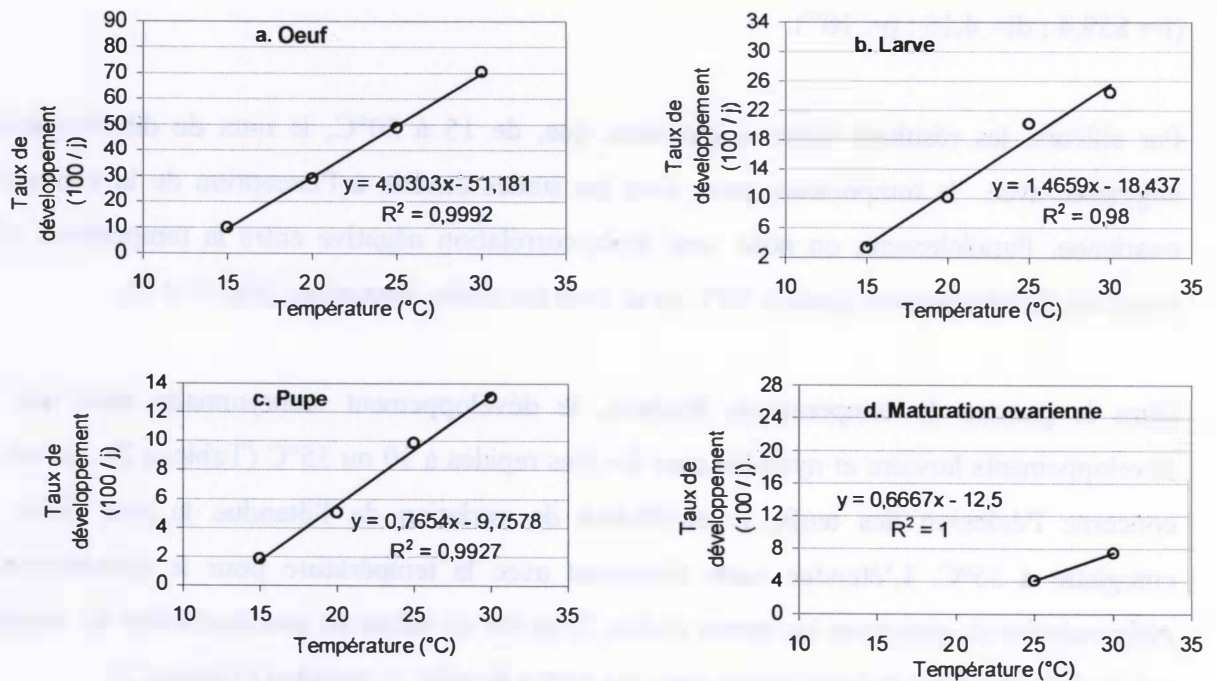
												Développement des nymphes				Maturation des ovaires				Total
Développement des œufs				Développement des larves																
Temp. (°C)	Moyenne (h)	Etendue (h)	C.V. (%)	Moyenne (j)	Etendue (j)	C.V. (%)	Moyenne (j)	Etendu (j)	C.V. (%)	Moyenne (j)										
15	244 ± 13	a 45	a 18	c 30 ± 1,6	a 7	a 23	a 53 ± 0,3	a 4	a 7	a	Pas de mat.ov.				-					
20	83 ± 1	b 20	b 25	b 10 ± 0,1	b 1	b 11	a 20 ± 0,2	b 1	b 5	a										
25	49 ± 2	c 14	b 27	b 5 ± 0,5	c 1	b 12	b 10 ± 0,1	c 1	b 5	a	24 ± 3				41					
30	34 ± 1	d 18	b 53	a 4 ± 0,1	c 1	b 15	b 8 ± 0,1	d 1	b 10	a	13 ± 2				27					
35	37 ± 2	d 4	c 11	d 4 ± 0,2	c 1	b 23	a 8 ± 0,1	d 1	b 8	a					-					

**Etendue moyenne** = max[temps de développement] – min[temps de développement], (le laps de temps entre la première et la dernière éclosion d'œuf, entre la première et la dernière pupaison ou entre la première et la dernière émergence d'adulte).

**Coefficient de variation moyen, C.V.** = [100 x étendue] / [temps de développement].

Une transformation par **Arcsin[sqrt]** des C.V. a dû être effectuée avant de les soumettre à l'ANOVA.

Les moyennes suivies de lettres différentes dans la même colonne sont significativement différentes (ANOVA et test de Student Newman-Keuls,  $p < 0,05$ ).



**Figure 5.** Relation entre température et taux de développement (100 / j) pour les différents stades immatures chez *Bactrocera zonata* : (a) œuf, (b) larve, (c) pupa et (d) maturation ovarienne des femelles



Dans la gamme de températures s'étendant de 15 à 30°C, la relation entre la température et le taux de développement suit un modèle linéaire qu'il s'agisse du développement des œufs, des larves et des pupes. Pour chacun de ces trois stades, cette relation linéaire est très forte avec un excellent coefficient de corrélation ( $R^2 \geq 0,98$ ) (Fig. 5). Par contre, cette linéarité n'existe plus à partir de 35°C qui semble avoisiner le seuil supérieur de développement.

La température en-dessous de laquelle le développement est nul est déterminée pour chaque stade à l'aide de l'équation de régression. Les seuils minimum de température se situent à 12,7 ; 12,6 et 12,8°C pour les œufs, les larves et les pupes respectivement, tandis que les constantes thermiques pour ces mêmes stades sont de 24,8 ; 68,2 et 131,0 degrés-jour. Ainsi, le nombre total de degrés-jour au-dessus du seuil minimum de développement nécessaire à *B. zonata* pour accomplir son cycle est de 224.

Les taux de survie les plus élevés ont été obtenus pour les pupes. Ils sont généralement inférieurs au stade larvaire et encore plus au stade œuf, stade pour lequel ils sont les plus faibles. Le meilleur taux de survie (100 p.100) est enregistré pour les nymphes à 25°C et le plus faible (8 p.100) pour les œufs à 15°C. En ce qui concerne les larves, le taux de survie le plus élevé (98 p.100) s'obtient à 25°C et dans le cas des œufs (50 p.100) à 30°C. Pour un lot initial de cent œufs, le nombre d'adultes qui ont émergé varie entre 1 à 15°C et 41 à 30°C. On ne note pas de différence significative entre les nombres d'adultes qui ont émergé à 20, 25°C et 30° C (Tableau 3).

L'observation des valeurs de mortalité instantanée (MI) montre qu'elle se révèle la plus importante pour le stade œuf et la plus faible pour le stade pupal. Elle est nulle à 25°C pour les nymphes et atteint un maximum à 35°C pour le stade embryonnaire (Tableau 3).

**Tableau 3.** Survie et mortalité instantanée des différents stades immatures chez *Bactrocera zonata* (n = 4 répétitions).

Temp. (°C)	Survie des œufs			Survie des larves			Survie des nymphes			Adultes émergés pour 100 œufs
	Moyenne (%)	MI		Moyenne (%)	MI		Moyenne (%)	MI		
15	8 ± 2	b	0,30	46 ± 28	c	0,03	13 ± 4	c	0,04	1
20	44 ± 9	a	0,20	88 ± 8	a	0,01	96 ± 4	a	0,01	37
25	39 ± 16	a	0,50	98 ± 2	a	0,01	100 ± 0	a	0,00	38
30	50 ± 9	a	0,50	89 ± 4	a	0,03	94 ± 4	a	0,02	41
35	14 ± 2	b	1,30	79 ± 5	b	0,05	56 ± 15	b	0,08	6

**MI : taux de mortalité instantanée** (=  $-\ln[\text{survie}] / \text{temps de développement}$ ).

Avant de procéder à l'analyse de variance des taux de survie, nous les avons transformés par Arcsin[sqrt].

Les moyennes suivies de lettres différentes dans la même colonne sont significativement différentes (ANOVA et test de Student Newman-Keuls).

## 5. DISCUSSION

Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude amènent à penser que l'élevage en masse de *B. zonata* au laboratoire en utilisant les milieux artificiels larvaires « *C. capitata* » peut être envisagé avec succès notamment dans la perspective d'une lutte autocide à l'aide de mâles stériles. Cependant, il serait intéressant de soumettre ces milieux à des tests plus approfondis afin de préciser leurs éventuels inconvénients tout en les comparant à d'autres comme les milieux mis au point au Pakistan et à Maurice (Annexe 3 : Tableaux 5 et 6).

Les insectes que nous avons utilisés proviennent d'un élevage et peuvent, de ce fait, se comporter différemment d'insectes sauvages (Duyck, 2000) ; aussi serait-il intéressant de vérifier nos résultats sur des souches sauvages. Par ailleurs, il conviendrait d'entreprendre une étude permettant de comparer la durée de développement larvaire sur fruits-hôtes et sur milieu artificiel. Enfin des essais avec des températures fluctuantes, se rapprochant davantage des conditions naturelles, permettraient de vérifier les résultats obtenus au laboratoire à des températures constantes.

Nous avons enregistré, au stade œuf, un taux de survie très faible à toutes les températures testées (avec un minimum de 8 p.100 à 15°C et un maximum de 50 p.100 à 30°C). On peut évoquer deux raisons pour expliquer cela :

- 1) Il pourrait s'agir d'une mauvaise adaptation des mouches aux conditions d'élevage car l'essai a été conduit à partir d'une souche sauvage F0.
- 2) Il pourrait aussi s'agir d'un problème de non fécondation des œufs consécutif à un manque d'accouplements. Celui-ci est probablement dépendant des conditions lumineuses auxquelles sont soumis les adultes. On sait que les mouches s'accouplent à la tombée de la nuit en lumière artificielle faible (FAO/IAEA/USDA, 2000). Or, cette condition n'était pas réalisée dans la salle d'élevage. Ainsi, il faudrait les élever dans un espace où l'intensité lumineuse décroîtrait à partir de 17h et serait maintenue jusqu'à 21h, ou les soumettre à diverses conditions de lumière afin de mieux cerner le problème. Aussi, il sera intéressant d'entreprendre d'autres essais sur le pourcentage d'éclosion des œufs lorsque les mouches seront très bien adaptées aux conditions d'élevage.

L'étude a montré également que les taux d'éclosion obtenus à 20, 25 et 30°C étaient supérieurs à ceux obtenus à 15 et 35°C. Par contre, le seuil minimum de développement des œufs se situe à 12,7°C. Ce seuil inférieur de développement embryonnaire apparaît proche de celui de *B. dorsalis* (12,2°C) selon Alzubaidy (2000), tandis que Mahomed (2000) l'établit plutôt à 10°C. La gamme de températures la plus favorable au développement des œufs et à la nymphose s'étend de 20 à 30°C, ce qui est en accord avec les études antérieures (Mohamed, 2000 ; Chaudhry & Jamal, 2000). D'après les données obtenues, les stades immatures de *B. zonata* parviennent à se développer normalement dans la gamme de températures comprises entre 20 et 30°C, ce qui concorde bien avec les études antérieures. Pour les larves, la survie reste même très satisfaisante lorsque la température atteint 35°C. Par contre, la maturation ovarienne semble dépendante d'une gamme de températures plus étroite, la température qui lui est la plus favorable se situant à 30°C. D'après les résultats obtenus au cours de cette étude, ni les basses températures (par ex. 15 et 25°C) ni les hautes températures (par ex. 35°C) ne sont favorables à la maturation des ovaires de *B. zonata* (Fig. 4).

Les résultats concernant les taux de survie embryonnaire doivent être pris avec beaucoup de précaution car la souche sur laquelle notre étude a été conduite présentait un défaut d'accouplement qui n'a pu être résolu au cours de notre travail. C'est pourquoi il est impossible de comparer ces taux avec ceux obtenus pour les *Ceratitis* spp. dans les mêmes conditions. Cependant, les taux de survie très faibles obtenus à 15°C ainsi que les seuils inférieurs de développement relativement élevés laissent supposer que *B. zonata* pourrait avoir du mal à se développer en altitude où elle serait susceptible d'être largement dominée par d'autres espèces comme *Ceratitis rosa* (Karsch).

Les temps mis par *B. zonata* pour accomplir son cycle complet aux températures constantes testées pour lesquelles une comparaison est possible (à 25 et 30°C) sont plus longs que pour les *Ceratitis* spp. notamment *C. capitata* (23 jours à 25°C et 19 jours à 30°C) et *C. catovirii* (21 jours à 25°C et 17 jours à 30°C), mais seulement à 25°C (32 jours) pour *C. rosa* (même durée de développement que *B. zonata*, 27 jours à 30°C) (Duyck & Quilici, 2002).

Les températures-seuils de développement enregistrées pour les différents stades de *B. zonata* (12,7 ; 12,6 et 12,8°C respectivement pour les œufs, les larves et les pupes) sont relativement plus élevées que celles obtenues pour *C. capitata* (11,6 ; 10,2 et 11,2°C), et surtout *C. rosa* (9,8 ; 3,1 et 11,0°C) ou *C. catoirii* (9,9 ; 8,9 et 9,3°C). Par contre, la constante thermique, c'est-à-dire le nombre de degrés-jour nécessaire à *B. zonata* pour accomplir son cycle (224°j) est inférieure à celle nécessaire à *C. capitata* (259,6°j), ou plus encore à *C. rosa* (405,4°j) et *C. catoirii* (355,6°j) (Duyck & Quilici, 2002).

Les lâchers de parasitoïdes ou de mâles stériles nécessitent des élevages importants et réguliers. La température joue un rôle clé dans le processus d'élevage des insectes. Ainsi cette étude pourra contribuer à l'amélioration des méthodes d'élevage de *B. zonata*. Elle pourra aussi permettre de raisonner en arboriculture en fonction de la température ambiante la lutte contre ce ravageur. Comme le temps de développement de cette mouche est long et son taux de survie très faible à basses températures, les générations seront probablement espacées dans le temps en altitude, notamment en hiver. Dans ces conditions, on pourrait réduire au maximum le nombre de traitements puisque les risques de pullulation de ce prédateur sont faibles.

D'après notre étude, le temps de développement et la survie de chaque stade vital sont fortement influencés par la température. Celle-ci fournit des données de base qui seront utiles pour la construction de modèles en vue de prédire le développement et la distribution géographique de *B. zonata* en fonction des saisons et de l'altitude.



## 6. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La présente étude a fourni des informations sur l'influence de la température sur la biologie du développement de *B. zonata*, notamment sur le taux de développement et la survie des différents stades pré-imaginaux ainsi que sur la maturation ovarienne des femelles. Ces informations apportent une meilleure connaissance sur la biologie de cette espèce tout en confortant plus ou moins le peu de données disponibles sur elle.

Cependant, il conviendra de compléter cette première approche par l'évaluation d'autres paramètres tels que la longévité et la fécondité des adultes. Il conviendrait aussi d'investiguer d'autres facteurs susceptibles d'agir sur le développement de la mouche de la pêche comme l'humidité, ou le type et la qualité des fruits-hôtes. De même, il serait intéressant de reprendre la partie de l'étude qui concerne la maturation ovarienne des femelles, laquelle n'a pas permis, faute de temps, de disposer de données précises et exhaustives sur cet aspect. Enfin, dans une optique d'élevage en masse de cette espèce et dans le but d'améliorer le taux de survie des œufs, il sera nécessaire de réaliser des essais en vue de préciser les conditions exactes susceptibles de favoriser les accouplements.

La connaissance de l'influence de la température sur le cycle de développement peut permettre de comprendre et d'expliquer la répartition spatio-temporelle de cette espèce notamment à l'île de La Réunion dont elle colonise pour l'instant surtout les zones côtières.

Cette étude contribuera également à l'amélioration des méthodes d'élevage car une bonne maîtrise de la température est indispensable pour la production en masse de parasitoïdes ou de mâles stériles des insectes ravageurs en général et de *B. zonata* en particulier.

Enfin ces données serviront à l'élaboration de modèles informatiques permettant d'appréhender la dynamique des populations au champ tant à La Réunion que dans d'autres régions du monde.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABDULLAH J., K. JONATHAN & R.WILLIAM**, 1999. Evaluation of the Peach Fruit Fly problem in Egypt with recommendations for its control and eradication, including a limited cost-benefit analysis. A report on a Mission to Egypt June 11 to June 24, 1999. Project code: C3-INT/0/069 13 01.
- AGARWAL, M.L. & V.C. KAPOOR**, 1986. Indian Dacini (Diptera: Tephritidae) and their host plant relationship, In: R. Cavalloro (Ed.) *Fruit Flies of Economic Importance*, CEC/IOBC adhoc meeting, Hamburg, 1984: A.A. Balkema, Rotterdam, pp. 51-56.
- ALZUBAIDY, M.** 2000. Economic Importance and Control/Eradication of Peach Fruit Fly, *Bactrocera zonata*. *Arab. J. Pl. Prot.* 18(2): 139-142.
- ANONYME**, 1998. Mémento statistique agricole-Chiffres 1997- Direction de l'Agriculture et de la Forêt du Département et de la Région Réunion / AGRESTE.
- BREVAULT T.**, 1999. Mécanisme de localisation de l'hôte chez la mouche de la tomate, *Neoceratitis cyanescens*. Thèse de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique, Montpellier, 139 p.
- BREVAULT T. & S. QUILICI.**, 2000. Relationships between temperature, development and survival of different life stages of the tomato fruit fly, *Neoceratitis cyanescens*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 94 : 25-30.
- BUNGE VIVIER V.**, 1993. Impact économique des mouches des fruits à La Réunion et perspectives de la lutte raisonnée. *Mémoire de D.A.A. « Protection des cultures »*, ENSA/CNEARC, Montpellier, 40p.
- CHAUDHRY M.M.K & Q. JAMAL.**, 2000. Effect of Abiotic Factors on Population Fluctuation of Oriental and Peach Fruit Flies at Rawalpindi, Pakistan. *Pakistan Journal Zoologia*, 32(2), 182-185.
- CIRAD-Réunion**, 1998 : Spécial rapport annuel 1997. Magazine CIRAD-Réunion, juin 1998, n° 11: 63 pp
- DAVIDSON J.**, 1944. On the relationship between temperature and rate of development of insects at constant temperatures. *Journal of Animal Ecology* 13 : 26-38.
- DEHECQ J.S.**, 1995. Etude du comportement sexuel et de la communication phéromonale chez trois Tephritidae de La Réunion : *Dacus ciliatus* (Loew), *Dacus demmerezi* (Bezzi) et *Trirhithromyia cyanescens* (Bezzi). *Mémoire de fin d'études* : C.E.S.A./E.N.S.A.M., Montpellier.
- DOS REIS CORREIA E.**, 1999. Comportement de cour de deux espèces de mouches des fruits *Ceratitis rosa* et *Ceratitis catoirii* (Diptera : Tephritidae) présentes à La Réunion. *Mémoire de D.E.S.S. Ecosystèmes Méditerranéens*, Université de Corse, Corte, 37p.

- DUYCK P.F.**, 2000. Etude comparée de la biologie du développement chez trois espèces de mouches des fruits (*Ceratitis* spp.) (Diptera : Tephritidae), nuisibles aux cultures fruitières à l'île de La Réunion. *Mémoire de DESS*, Université d'Angers, 37 pp.
- DUYCK P.F & S. QUILICI.**, 2002. Survival and development of different life stages of three *Ceratitis* spp. (Diptera: Tephritidae) reared at five constant temperatures. *Bulletin of Entomological Research* (sous presse).
- ETIENNE J.**, 1973. Conditions artificielles nécessaires à l'élevage massif de *Ceratitis rosa* (Diptera : Trypetidae). *Entomologia Experimentalis et Applicata* 16 : 380-388.
- ETIENNE J.**, 1982. Etude systématique, faunistique et écologique des Téphritides de La Réunion. *Thèse de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes*, Paris, 100p.
- FAO/IAEA/USDA**, 2000. Action Plan Peach Fruit Fly, *Bactrocera zonata* (Saunders). Joint FAO/ IAEA Division, Vienna, Austria. Compiled and edited by J.N.L. Stibick, Plant Protection & Quarantine, Animal and Plant Health Inspector Service, USDA.
- FERNANDES-DA-SILVA P.G. & F.S. ZUCOLOTO**, 1993. The influence of host nutritive value on the performance and food selection in *Ceratitis capitata* (Diptera Tephritidae). *Journal of Insect Physiology* 39(10) : 883-887.
- FERON M.**, 1962. L'instinct de reproduction chez la mouche Méditerranéenne des fruits *Ceratitis capitata* Wied. (Dipt. Trypetidae). Comportement sexuel – Comportement de ponte. *Revue de Pathologie Végétale et d'Entomologie Agricole de France*, 41 (1) : 1-129.
- FLETCHER, T.B.** 1917. Annotated list of Indian crop pests, *Proc. Second ent. Meeting*, Pusa, 241.
- FLETCHER B.S.**, 1989. Temperature-development rate relationships of the immature stages and adults of Tephritid fruit flies. In : "A.S. Robinson & G.H.S. Hooper (eds), Fruit flies, their biology, Natural Enemies and Control. World Crop Pests, 3B, Elsevier, Amsterdam, 447 p."
- HURTREL, B., S. QUILICI & E. JEUFFRAULT**, 2000. Un nouveau ravageur important : *Bactrocera zonata*. Phytosanitairement Vôtre, journal SPV- Réunion, pp. 2.
- HURTREL, B., E. JEUFFRAULT & S. QUILICI**. 2001. Lutte contre la mouche du pêcher (*Bactrocera zonata*) à la Réunion. Rapport d'exécution : synthèse des opérations menées de février à septembre 2000, pp. 17.
- MESSINGER P.S. & N.E. FLITTERS**, 1958. Effects of constant temperature environments on the egg stage of three species of Hawaiian fruit flies. *Annals of the Entomological Society of America* 51 : 109-119.
- MOHAMED A.M.**, 2000. Effect of Constant Temperatures on the Development of the Peach Fruit Fly, *Bactrocera zonata* (Saunders). Plant Protection Research Institute, Agriculture Research Center. Assist Journal of Agricultural Science, 31 (2) : 329-339.

**MYBURG A.C.**, 1962. Mating habits of the fruit flies *Ceratitis capitata* (Wied.) and *Pterandrus rosa* (Ksh.). *South African Journal of Agricultural Sciences* 5 (3) : 457-464

**PROKOPY R.J. & B.D. ROITBERG**, 1989. Fruit fly foraging behavior. In: "A.S. Robinson & G.H.S. Hooper (eds), Fruit flies : their Biology, Natural Enemies and Control. World Crop Pests, 3A, Elsevier, Amsterdam, 372p." : 293-306.

**QUILICI, S. & E. JEUFFRAULT**, 2001. Plantes-hôtes des mouches des fruits à Maurice, La Réunion et aux Seychelles. Imprimerie GRAPHICA, Saint-André, Ile de La Réunion, pp 227.

**QUILICI S., A. FRANCK, A. PEPPUY, E. DOS REIS CORREIA, C. MOUNIAMA & F. BLARD**, 2002. Comparative studies of courtship behavior of *Ceratitis spp.* (Diptera : Tephritidae) in Reunion Island. *Folrida Entomologist*, 85 (1) : 138-142.

**QURESHI Z., T. HUSSAIN, J. R. CAREY & R. V. DOWELL**, 1993. Effects of temperature on development of *Bactrocera zonata* (Saunders) (Diptera : Tephritidae). *Pan-Pacific Entomologist* 69(1): 71-76.

**RIJN, P.C.J. VAN, C. MOLLEMA & G.M. STEENHUIS-BROERS**, 1995. Comparative life history studies of *Frankliniella occidentalis* and *Thrips tabaci* (Thysanoptera : Thripidae) on cucumber. *Bulletin of Entomological Research* 85: 285-297.

**STATSOFT-France**, 1997. STATISTICA pour Windows (Manuel du Programme), StatSoft-France, 72 quai des Carrières, 94220 Charenton-le-Pont, France.

**TZANAKAKIS M.E. & D.S. KOVEOS**, 1986. Inhibition of ovarian maturation in the olive fruit fly under long photophase and an increase of temperature. *Annals of the Entomological Society of America* 79 : 15-18.

**VAYSSIERES J.F.**, 1999. Les relations insectes-plantes chez les Dacini (Diptera : Tephritidae) ravageurs des Cucurbitaceae à La Réunion. *Thèse du Museum National d'Histoire Naturelle*, Paris, 206p.

**WAGNER T.L., H.I. WU, J.H. SHARPE, R.M. SCHOOLFIELD & R.N. COULSON**, 1984. Modeling development rates : a literature review and application of a biophysical model. *Annals of the Entomological Society of America* 77: 208-225.

**WILLIAMSON D.L.**, 1989. Oogenesis & spermatogenesis. In: "A.S. Robinson & G.H.S. Hooper (eds.), Fruit flies: Their Biology, Natural Enemies and Control. World Crop Pests, 3A, Elsevier, Amsterdam, 372p." : 141-151.

**ANONYME**, 1999. La Réunion en chiffres.

<http://www.environnement.gouv.fr/regions/Reunion/reunchiffres.htm>.



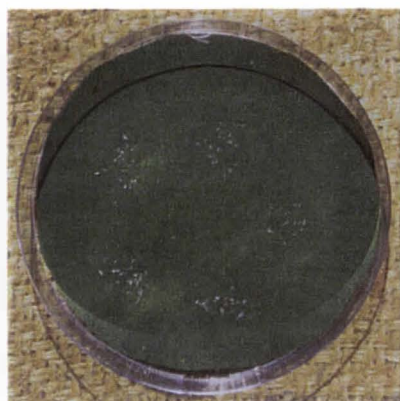


### Annexe 1. Piégeage sexuel : Type de piège « Addis »

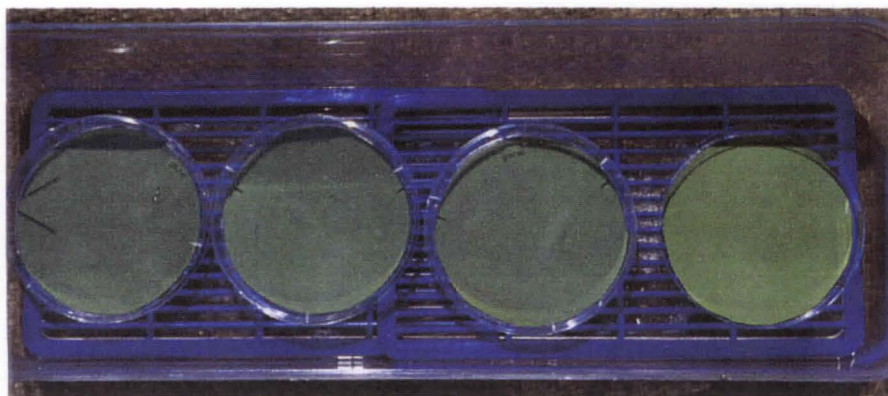


**Photo 7.** Piégeage sexuel pour la surveillance des populations de mouches des fruits en vergers d'agrumes ou de manguiers. Les attractifs sont des paraphéromones visant les mâles de ces ravageurs. Une plaquette insecticide (à base de dichlorvos) est ajoutée pour tuer les individus capturés (*Ph. D. Vincenot*).

Annexe 2. Matériel utilisé pour l'étude des différents stades immatures de *Bactrocera zonata*



A



B

**Photos 8 A et B.** Matériel utilisé pour l'étude du développement des œufs de *Bactrocera zonata*. (Ph. A. Franck).

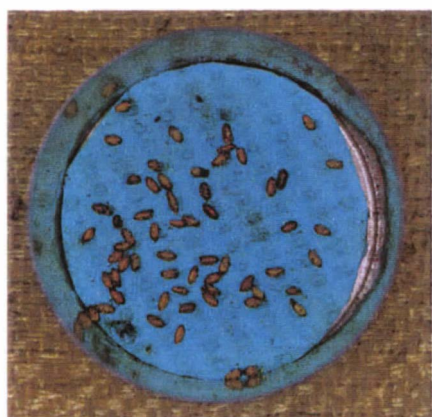


A



B

**Photos 9 A et B.** Matériel utilisé pour l'étude du développement des larves de *Bactrocera zonata*. (Ph. A. Franck).



**Photo 10.** Matériel utilisé pour l'étude du développement des pupes de *Bactrocera zonata*. (Ph. A. Franck).

**Annexe 3.** Composition des milieux larvaires « *C. rosa* », du milieu pakistanais et du milieu mauricien.

**Tableau 4.** Composition des milieux artificiels larvaires pour *Ceratitis rosa*

Milieu n°1	
Poudre de carotte déshydratée	112 g
Levure de bière	25 g
Agar	5 g
Nipagine (2‰)	500 ml
Benzoate de sodium (2 ‰)	
Eau distillée	

Milieu n°2	
Poudre de carotte déshydratée	12,5 g
Levure de bière	31,25 g
Flocons de pomme de terre	12,5 g
Germe de blé	25 g
Sucre	50 g
Acide chlorhydrique (16,5‰)	15 ml
Nipagine (2‰)	500 ml
Benzoate de sodium (2‰)	
Eau distillée	

**Tableau 5.** Composition du milieu pakistanais (Qureshi *et al.*, 1974)

Son de blé	200 g
Levure de bière	34 g
Canne à sucre (roux)	66 g
Agar	5 g
Acide chlorhydrique (16,5‰)	40 ml
Nipagine/Benzoate/Eau osmosée (2‰)	800 ml

**Tableau 6.** Composition du milieu mauricien (K. Permalloo et I. Seewooruthun, comm.pers.)

Farine de maïs	400 g
Drèche sèche	150 g
Sucre	80 g
Malt	80 g
Levure sèche	40 g
Bagasse	20 g
Acide benzoïque (Analar)	3 g
Acide chlorhydrique (10%)	10 ml
Eau	1 L

